



ESCOLA NAVAL

talant de bi-faire



ASPOF FZ GONÇALO NEVES DE ALMEIDA ROSADO JONES

Desenvolvimento e Análise Robusta de Táticas – Terrestres (DART-T) Modelação de agentes Fuzileiros

**Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Ciências Militares Navais,
na especialidade de Fuzileiros**



Alfeite

2020



ASPOF FZ Gonçalo Neves de Almeida Rosado Jones

Desenvolvimento e Análise Robusta de Táticas – Terrestres

(DART-T)

Modelação de agentes Fuzileiros

Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Ciências Militares Navais,
na especialidade de Fuzileiros

Orientao de: CMG M RES Maia Martins

O Aluno Mestrando,

O Orientador,

Alfeite

2020

Epígrafe

“It is not the critic who counts; not the man who points out how the strong man stumbles, or where the doer of deeds could have done them better. The credit belongs to the man who is actually in the arena, whose face is marred by dust and sweat and blood; who strives valiantly; who errs, who comes short again and again, because there is no effort without error and shortcoming; but who does actually strive to do the deeds; who knows great enthusiasms, the great devotions; who spends himself in a worthy cause; who at the best knows in the end the triumph of high achievement, and who at the worst, if he fails, at least fails while daring greatly, so that his place shall never be with those cold and timid souls who neither know victory nor defeat.”

-Theodore Roosevelt

Agradecimentos

Em primeiro lugar, e antes de iniciar a exposição da Dissertação, gostaria de fazer referência e de agradecer àqueles que me acompanharam, não só na elaboração deste trabalho, mas também ao longo do meu percurso na Escola Naval.

À NEST Paintball, pela imediata disponibilidade e hospitalidade mostrada para o desenvolvimento de testes nas suas instalações.

Aos camaradas de curso, que prontamente se ofereceram para fornecer toda a ajuda necessária na elaboração deste projeto.

Ao CMG Maia Martins, meu orientador, pelo desafio lançado, por toda a ajuda na resolução de dúvidas e pela orientação ao longo da elaboração da Dissertação, de forma a garantir que a mesma era levada a bom porto.

Ao CFR FZ Almeida Gabriel, que nos últimos anos se afigurou como uma peça fundamental na minha educação enquanto Oficial da Classe de Fuzileiros e que se apresentou sempre disponível para qualquer esclarecimento, contribuindo com informações essenciais para o desenvolvimento deste projeto.

Por fim, à minha família e amigos, que me acompanham sempre, em todo e qualquer momento. Sem o seu sacrifício e sem os seus ensinamentos, nada seria possível.

Resumo

O projeto “Desenvolvimento e Análise Robusta de Táticas – Terrestres” (DART-T) assenta fundamentalmente num complexo simulador baseado em agentes, desenvolvido em MATLAB, com modelos de decisão criados a partir do mundo real. Os agentes modulados e incorporados no simulador, são baseados naquilo que é um Fuzileiro no terreno, em termos de equipamento, armamento, progressão no terreno e capacidade de reação.

Para a Modelação dos Agentes, foram desenvolvidos modelos que permitissem criar a base daquilo que é o comportamento de um combatente no terreno, nomeadamente dentro do espectro de operações desenvolvidas por forças de Fuzileiros.

Alguns modelos foram obtidos através de bibliografia diversa, enquanto outros foram obtidos por experimentação e através de testes práticos, que permitiram obter valores para determinadas situações mais específicas.

Foram escolhidos os parâmetros que, quando introduzidos como modelos no simulador, permitissem obter as simulações com maior aproximação da realidade, como por exemplo para as capacidades de visão e movimento dos agentes, assim como para a componente de tiro e balística.

Para ser possível obter resultados realistas e que apresentem resultados fiáveis no decorrer das simulações, tornou-se necessário desenvolver modelos adequados e atuais, que permitissem modelar aquilo que é a essência de um Fuzileiro nas suas três componentes essenciais: a sua componente Estática, Dinâmica e a componente de Interação no terreno.

Palavras-chave: Simulador baseado em agentes, Modelação, Processos, Técnicas, Táticas e Procedimentos.

Abstract

This work presents a fundamentally complex multi agent-based simulator that was developed in MATLAB with models and processes created from the real world. These agents, modelled and incorporated in the simulator, are based on the characteristics of a Fuzileiro in the battlefield, in terms of equipment, progress on the field and capability to react.

To model the agents, the models that were developed were chosen with the purpose of creating the base of what is the behaviour of a soldier, specifically a Fuzileiro and within the spectre of operations that are developed by a special force element.

Some models where created through varied resarch and bibiography, while others where obtained through practical experimentation, for some more specific values.

The parameters were chosen so that when the models created were introduced and run in the simulator, the results where closer to what would be obtained in real life situations, for example in terms of vision capabilities, agent movement patterns and likewise for shooting and balistics parameters.

In order to obtain the most realistic and reliable results at the end of each simulation, it became neccessary to develop models that would allow to create a virtual version of the essence of a Fuzileiro in its three primary components: the Static component, Dinamic and the component of Interaction on the battlefield.

Keywords: *Agent-based Simulator, Modeling, Processes, Tactics, Techniques and Procedures.*

Índice

Epígrafe	v
Agradecimentos.....	vii
Resumo.....	ix
<i>Abstract</i>	xi
Índice	xiii
Índice de figuras	xv
Índice de Tabelas.....	xvii
Índice de Gráficos	xvii
Lista de abreviaturas, siglas e acrónimos	xix
Introdução.....	1
Objetivo.....	3
Estrutura	4
1. Desenvolvimento do Cenário.....	7
1.1 Escolha do Cenário de Jogo.....	7
1.2 Divisão da modelação em componentes	7
2. Componente Estática.....	9
2.1 Campo de visão útil e Visão Periférica	9
2.2 Probabilidades e Velocidades de deteção	9
2.3 Busca Visual.....	13
3. Componente Dinâmica.....	16
3.1 Modelos Dinâmicos.....	16
3.2 Velocidades de progressão em marcha, corrida e <i>sprint</i>	17
3.3 Influência do peso na velocidade de progressão.....	18
3.4 Efeitos das cargas transportadas	19
3.5 Velocidades na Marcha do Leopardo - Rastejar	20
4. Componente de Interação.....	22
4.1 Modelos de Interação	22
4.2 Elementos externos que afetam a precisão do tiro.....	23
4.3 Cálculo da Área Exposta do Alvo.....	26
4.4 Efeitos da ansiedade no tiro	27
4.5 Tempos de Deteção de acordo com Variações de Contraste e Padrões de Camuflagem	29

4.6 Probabilidade de <i>hit</i>	31
4.7 Tempos de Aquisição e Tempos de Pontaria	35
4.7.1 Introdução e Objetivos:.....	35
4.7.2 Equipamento	36
4.7.3 Realização dos testes	37
4.7.4 Resultados Obtidos - Precisão de tiro para alvos em movimento	38
4.7.5 Resultados Obtidos - Tempo de aquisição do alvo em movimento e tempos entre tiros	39
4.7.6 Análise dos resultados.....	40
Conclusões e Propostas para Trabalhos Futuros	41
Conclusões	41
Propostas para Trabalhos Futuros	42
Bibliografia.....	44
Anexo I.....	47
Relatório da Reunião para Elaboração da Matriz de Análise Morfológica	47

Índice de figuras

Figura 1 - Exemplo de carta de tiro com sobreposição de setores	11
Figura 2 - Média, mediana e desvio-padrão para os tempos de reação de acordo com cada ângulo e velocidade.....	12
Figura 3 - Fotografia do local de testes.....	32
Figura 4 - Esquema da realização dos testes.....	33

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Esforço físico exercido de acordo com a carga transportada, em função da velocidade e distância percorrida.....	18
Tabela 2 - Tempos de resposta segundo o contraste I.....	26
Tabela 3 - Tempos de resposta segundo o contraste II.....	27
Tabela 4 - Tabela de registo de <i>hits</i> e tempos para percorrer o percurso, em segundos.....	34
Tabela 5 - Resultados obtidos para tempos médios, média de <i>hits</i> e velocidades.....	35
Tabela 6 - Resultados dos testes para tempos de aquisição e tempos entre disparos.....	36
Tabela 7 – Matriz de Análise Morfológica.....	42

Índice de Gráficos

Gráfico 1 - Probabilidade de deteção em função da velocidade angular.....	10
Gráfico 2 - Probabilidade de <i>hit</i> de em função da distância ao alvo.....	29
Gráfico 3 - Precisão de tiro de acordo com o apoio utilizado.....	30
Gráfico 4 - Probabilidade de <i>hit</i> em função do treino.....	30

Lista de abreviaturas, siglas e acrónimos

ASPOF – Aspirante a Oficial

CF – Corpo de Fuzileiros

CFR – Capitão de Fragata

cm – Centímetro

CMG – Capitão-de-Mar-e-Guerra

CVP – Campo de Visão Periférica

CVU – Campo de Visão Útil

deg/s – Graus por segundo

FZ – Fuzileiro

GMA – *General Morphological Analysis*

h – Hora

HA – *High anxiety*

Kg – Kilograma

km/h – Kilómetros por hora

LA – *Low anxiety*

m^2 – Metro quadrado

m/s – Metros por segundo

MABS – *Multi Agent Based Simulator*

MATLAB – *Matrix Laboratory*

mm – Milímetro

PO – *Peripheral object*

RADAR – *RAdio Detection And Ranging*

s – Segundos

ts – *Time step*

TTP – Técnicas, Táticas e Procedimentos

Introdução

Desde sempre, a história da evolução humana tem sido pautada por conflitos e guerras. Nos últimos 3400 anos de existência do Homem, apenas 268 anos foram passados em paz, ou seja, apenas 8% na totalidade, desde os primeiros relatos históricos (Hedges, 2003). Estima-se, que apenas no decorrer do século XX, tenham morrido pelo menos 108 milhões de pessoas em situações de guerra. No total, o número combinado de militares de forças armadas em todo o mundo é cerca de 21.3 milhões de combatentes. Na lista dos conflitos mais recentes podem ser incluídos a guerra no Afeganistão, Argélia, China, Congo, Índia, Israel, Iraque, Libéria, Paquistão, Rússia e Sudão, entre outros. Esta tendência para a existência de conflitos armados está na gênese humana e é um produto da nossa evolução biológica e do ambiente em que somos criados enquanto espécie humana.

Com os números apresentados, pode-se concluir que uma percentagem considerável da população humana é afetada pela guerra existente hoje em dia ou foi afetada de alguma forma no passado. Toda esta gênese humana virada para a violência traz um preço a pagar, seja este a preço de sangue, através das inúmeras vidas perdidas ao longo da história, seja através dos milhares de milhões de euros e dólares que são gastos anualmente com o objetivo de aumentar as capacidades de defesa e ataque das diversas nações.

Dada a atual capacidade tecnológica existente e disponível em larga escala mundialmente por praticamente todas as nações, existe a possibilidade de reduzir substancialmente os recursos utilizados para treino e adestramento de forças para combate e em meios bélicos. Existem hoje em dia, e são cada vez mais utilizadas, capacidades computacionais que permitem, com uma maior eficácia e eficiência, contribuir para o processo de tomada de decisão por parte dos comandos militares, contribuindo assim para redução de custos materiais e pessoais.

Os simuladores, sendo por definição ferramentas que permitem recriar situações reais em ambiente virtual, apresentam a capacidade de obter resultados analíticos a velocidades bastante superiores às aquelas que testes em ambiente real permitem. São ferramentas que apresentam grandes vantagens a nível de quantidade e de variedade de resultados, uma vez que dependendo dos parâmetros introduzidos, podem ser corridas milhares de simulações em tempo reduzido, apresentando resultados fiáveis e que podem auxiliar o processo de tomada de decisão, aproveitando o tempo determinado que existe na fase de planeamento inerente a

uma operação ou exercício militar. Para além de apresentarem vantagens em termos de gestão de tempo e de recursos, estes simuladores apresentam grandes vantagens ainda em termos de segurança, dada a inevitável natureza perigosa de exercícios militares, onde são constantemente utilizados diversos tipos de armamento, explosivos e materiais que ponham em causa a salvaguarda da vida humana.

Segundo Faria, 2013, p.26, o autor refere os problemas da modelação de comportamentos humanos, dada a inerente complexidade dos processos utilizados e dado o enorme volume de informação que necessita ser processada. É referido que, quanto maior for o detalhe na transposição do mundo real para o mundo simulado, maior será a duração dos processos, o que poderá inclusivamente levar a que a duração da simulação ultrapasse a duração da experiência equivalente em ambiente real.

Segundo Ilachinski, 1997, p.7, os *Multiagent Based Simulators* (MABS) são simuladores que funcionam através de agentes modelados a partir do mundo real. Estes agentes apresentam comportamentos próprios, derivados das condições e modelos introduzidos, criando um universo heterogéneo e que melhor se aproxima do mundo real.

Não existindo na Marinha Portuguesa, mais concretamente nas Forças de Fuzileiros, um simulador que permita obter resultados em termos de experimentação a nível de Tática Terrestre, foi elaborado um simulador, com base no projeto SecurePort, tendo este sido concebido pelo Capitão-de-Mar-e-Guerra Maia Martins em 2017, por forma a melhorar o planeamento de missões de proteção portuária contra ameaças terroristas (Martins, 2017) . Este simulador permite, através da experimentação de Táticas, Técnicas e Procedimentos cruzada com modelos de agentes Fuzileiros, obter resultados para diferentes cenários introduzidos pelo utilizador e obter linhas de ação que permitam o mais eficiente cumprimento de uma determinada missão.

O projeto Desenvolvimento e Análise Robusta de Táticas – Terrestres (DART-T) surge, assim, como uma ferramenta que permite desenvolver novos procedimentos e analisar e simular diferentes modalidades de ação. Para tal, foram aplicados os modelos e processos necessários para a modelação dos agentes e para correr as diversas simulações, em qualquer cenário que o utilizador deseje introduzir.

Este projeto foi dividido em duas partes, sendo as duas trabalhadas em separado. A primeira parte do projeto foi dedicada à criação dos processos necessários para o funcionamento do simulador e a validação do mesmo num cenário arborizado. A outra componente do projeto foi o desenvolvimento dos modelos, que permitiram a criação de um agente virtual, que fosse a transposição do mundo real para o virtual, de um militar de uma Força de Fuzileiros, em termos de características psico-físicas e procedimentos doutrinários, segundo o que se encontra em vigor no Corpo de Fuzileiros.

A primeira parte foi desenvolvida pelo camarada ASPOF FZ Vladislavovich Orzhekhovskiy, enquanto a componente de modelação foi trabalhada pelo autor desta dissertação.

Objetivo

A construção do simulador (DART-T) tem como base a análise de táticas em diversos cenários, de forma a obter resultados o mais próximo da realidade. Para tal, o simulador foi construído tendo como base agentes que replicam, dentro do possível, o comportamento de um Fuzileiro no terreno, tanto em termos de movimento, como de deteção e aquisição de alvos, tiro, alterações de postura, etc... Para tal, foi necessário modelar esses mesmos agentes, por forma a que fossem obtidos os melhores resultados, ou seja os mais realistas.

Para ser possível correr as simulações pretendidas pelo utilizador do simulador, este tem de apresentar a capacidade de escolher a configuração das forças a serem utilizadas para o cumprimento da missão. Para tal, torna-se necessário encontrar modelos para que, quando o utilizador se encontrar na fase de inserção e escolha dos parâmetros, este possa optar pela configuração que melhor corresponde à situação tática no mundo real.

Após análise, foram definidas três componentes com o objetivo de servirem de base para o desenvolvimento dos modelos:

- Componente Estática – nesta componente serão trabalhados valores que constituem características próprias do ser humano e sobre as quais o treino do agente não apresenta aparente influência, como o funcionamento e a capacidade de visão.

- Componente Dinâmica – caracterizada por modelos que fazem a transposição de características corporais de um Fuzileiro, como a sua movimentação no terreno, alterações de postura e velocidades de progressão.
- Componente de Interação – toda a componente de tiro e balística, como os fatores externos que afetam a precisão de tiro de um atirador, os efeitos da ansiedade e do *stress* na precisão de tiro, entre outros.

Assim, foi definido como objetivo para esta dissertação:

Pesquisar e desenvolver modelos que permitam replicar e efetuar a transposição daquilo que é um Fuzileiro no mundo real, para valores que numa linguagem computacional, consigam ser utilizados no simulador por forma a obter os resultados que melhor façam a aproximação da realidade.

Estrutura

No que diz respeito à estrutura do presente trabalho, este encontra-se de acordo com as normas para apresentação de dissertações de mestrado, trabalhos de projetos ou relatórios, em vigor na Escola Naval.

Sendo assim, encontra-se dividido em parte pré-textual, textual e, por último, parte pós-textual.

A parte pré-textual é constituída pela capa, folha de rosto, epígrafe, agradecimentos, resumo, palavras-chave, *abstract*, *keywords* e índices.

Da parte textual fazem parte a introdução, conclusão e quatro capítulos.

Na parte pós-textual encontram-se os Apêndices e Anexos.

A presente dissertação é constituída por seis partes, apresentando-se na seguinte configuração:

Introdução – Breve introdução ao projeto, explicitando a pertinência do tema e os objetivos propostos.

Capítulo 1 – Escolha do Cenário – Neste capítulo encontram-se descritos os processos que levaram à escolha e implementação do cenário utilizado para executar as simulações numa fase inicial do simulador.

Capítulo 2 – Componente Dinâmica – Neste capítulo encontram-se descritos os diferentes modelos obtidos e desenvolvidos em termos de características inerentes ao agente virtual, que nada têm a ver com a sua movimentação e fatores a si externos, neste caso, modelos relativos fundamentalmente às suas capacidades de visualização e observação, assim como de deteção.

Capítulo 3 – Componente Estática – Neste capítulo, estão descritos os diferentes modelos obtidos e desenvolvidos, quer por pesquisa bibliográfica, conversa com especialista na área ou experimentação prática. Modelos estes, referentes às capacidades de movimentação dos agentes, como velocidades e tipos de progressão, e, por conseguinte, a influência das cargas transportadas pelo combatente na sua progressão.

Capítulo 4 – Componente de Interação – Neste capítulo, foram desenvolvidos diversos modelos que pretendem obter resultados no que toca à interação entre forças opositoras no terreno, nomeadamente por intermédio de tiro de armamento portátil.

Conclusão e Propostas para Trabalhos Futuros – Conclusões obtidas no desenvolvimento do projeto DART-T, assim como propostas para dar continuação ao projeto, a serem desenvolvidas futuramente.

1. Desenvolvimento do Cenário

1.1 Escolha do Cenário de Jogo

Para um simulador ter validade científica e experimental, este terá de ser testado, comparando os resultados obtidos através das simulações corridas com testes efetuados em situação real. Para este projeto, foi definido um determinado cenário, que tentativamente seria replicado no mundo real, e onde seriam efetuados testes de forma a averiguar a adequabilidade e exequibilidade das táticas testadas. Por consequência de falta de recursos em termos de tempo disponível e materiais, estes testes não foram executados. No entanto, foi efetuado um estudo para determinar quais seriam os cenários onde melhor se aplicariam as táticas a serem testadas nesta fase inicial do simulador.

Para a escolha dos cenários onde foram testadas as simulações, foi elaborada uma matriz de análise morfológica (GMA – *General Morphological Analysis*), cujo relatório se encontra em anexo. Dentro do universo de hipóteses existentes dentro do espectro das operações militares, mais concretamente das que são levadas a cabo pelos Fuzileiros portugueses, foram escolhidas as operações em áreas arborizadas e operações em áreas urbanizadas.

Tendo em conta as valências do simulador no momento da realização desta dissertação, optou-se por efetuar as simulações com uma força de escalão secção (8 agentes), dado que à medida que o escalão de força aumenta, os recursos computacionais requeridos para simular o comportamento de todos os agentes aumentam exponencialmente. Executar as simulações com uma força de escalão Pelotão já iria implicar cerca de 32 elementos a combater, o que seria bastante mais exigente em termos de tempo necessário e capacidade de processamento para correr as baterias de testes efetuadas.

1.2 Divisão da modelação em componentes

Segundo Smith, 1999, p. 2, um modelo é uma representação matemática ou um algoritmo que tem como objetivo a representação do funcionamento de um determinado sistema. Se estes sistemas forem simples, será possível obter uma função ou fórmula que

defina o comportamento do mesmo; no entanto, se o sistema em questão for complexo, a solução prende-se em encontrar uma representação aproximada, com um grau de erro aceitável, comparado com a situação real (Smith, 1999, p. 3). A modelação de um ser humano e a sua representação em ambiente virtual constitui uma complexidade imensa, logo terá de se recorrer a soluções aproximadas, que procurem essa representação da forma mais fiável possível.

De forma a simplificar e melhor desenvolver a modelação dos agentes Fuzileiros na sua criação no mundo virtual, esta foi dividida em componentes distintas, mas também inerentemente interligadas devido à natureza do comportamento humano. Foi feita uma análise dos principais aspetos a serem modelados, por forma a obter um esboço de um agente humano em ambiente virtual. Concluiu-se que os aspetos mais importantes de serem modelados, por forma a dar corpo ao agente, seriam a sua visão e o seu movimento.

Após estes, e dado o cariz combatente do agente, tornou-se essencial modelar todo o comportamento inerente à aquisição de alvos, comportamentos relativos ao uso de armamento e o seu efeito em termos de tiro e balística, assim como a influência dos equipamentos utilizados e transportados pelo militar nas suas velocidades e tipos de deslocamentos. Desta forma, a melhor opção encontrada foi efetuar a divisão da modelação em três componentes, sendo elas:

- Componente estática: constituída pela parte do campo de visão útil, visão periférica, probabilidades e velocidades de deteção na visão periférica.
- Componente dinâmica: movimento do agente, velocidades de progressão e alterações de postura.
- Componente de interação: toda a parte de armamento, os elementos que afetam a precisão de tiro, os efeitos da ansiedade na precisão do tiro e tempos de resposta consoante a camuflagem de um alvo e o seu contraste em relação ao meio envolvente, assim como tempos de aquisição de alvos em movimento.

2. Componente Estática

Neste capítulo estão explicitados todos os modelos e estudos efetuados na componente estática da modelação dos agentes Fuzileiros, nomeadamente onde estão descritos os processos de visualização e de busca visual no campo de batalha.

2.1 Campo de visão útil e Visão Periférica

A primeira prioridade foi definir qual o campo de visão útil de um atirador numa posição fixa, sendo que é esse o cenário existente no simulador, no momento da realização desta dissertação de mestrado. Para isso foram estudados o Campo de Visão Útil (CVU) e o Campo de Visão Periférica (CVP).

Segundo Harrington, 1981, com a cabeça e os olhos fixos numa posição, a visão binocular cobre um campo visual entre cerca de 200 a 220 graus de amplitude máxima. A fóvea, região central da retina do olho onde se forma a imagem que é transmitida ao cérebro, permite alta acuidade visual dentro de apenas cerca de 2 graus de campo visual sendo que esta decresce à medida que um objeto que está a ser visualizado se afasta do centro do campo visual (Yang et al, 2012).

2.2 Probabilidades e Velocidades de deteção

Segundo Monaco, 2007, capacidades como a discriminação de cor e a acuidade visual são bastante reduzidas no campo de visão periférica em comparação com a fóvea, enquanto outras capacidades como a deteção de estímulos, de movimentos rápidos e *flicker detection* são melhores na visão periférica. Estas capacidades da visão periférica são de extrema importância na deteção de alvos, na localização e orientação de objetos, dirigindo os movimentos do olho na direção dos estímulos captados para uma melhor inspeção pela fóvea. Para tarefas como vigilância, deteção e identificação de objetos, assim como a orientação espacial em condições de visibilidade reduzida no campo de batalha, a capacidade de deteção de movimento é essencial, particularmente dentro da visão periférica.

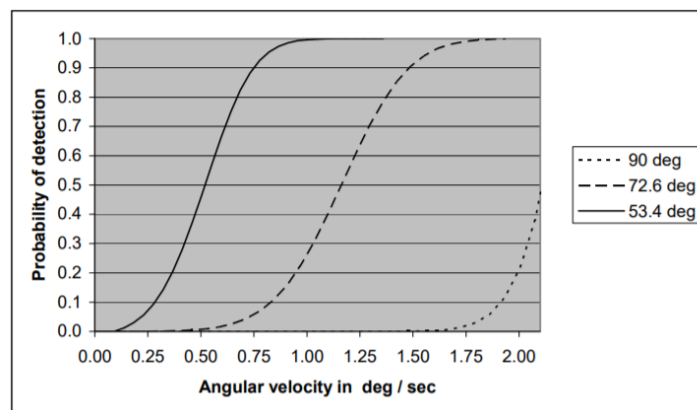


Gráfico 1 – Probabilidade de detecção em função da velocidade angular. Fonte: Monaco, 2007, p.7.

Por forma a conseguir obter informação mais precisa sobre os objetos e o cenário que estamos a observar, os olhos e a cabeça podem executar movimentos até cerca de 5 vezes por segundo, ou um movimento a cada 0.2s. No ambiente simulado, estes movimentos, assim como alguns tempos de resposta, têm de ser adequados ao *time step (ts)* em que o simulador opera, uma vez que se o *ts* for maior que estes tempos, estes não terão influência na simulação. Assim, se porventura o *ts* escolhido para determinada simulação for maior que 0.2s, estas mudanças de visualização serão efetuadas de acordo com essa ordem de grandeza, no limite mínimo de operação, por forma a obter os melhores resultados.

A diferença na modelação do CVU e do CVP para uma pessoa numa situação normal e um agente a operar num teatro de operações, como o que está a ser utilizado para o simulador, é que o atirador está numa situação tática e tem a sua visão condicionada por diversos fatores. Estes fatores podem causar uma diminuição do CVP (visão em túnel) devido ao *stress* ou ansiedade sentidos pelo atirador, ou até mesmo por uma eventual perda de sangue caso este tenha sido ferido. Para além disto, um atirador numa posição fixa (partindo do pressuposto que este não se encontra a operar sozinho) tem um setor atribuído que se parte do pressuposto que poderá atingir um máximo fiável de cerca de 20 graus, definido no momento da montagem da sua posição.

Outro fator a ter em consideração é que o agente com função de atirador fixo vai fazer tiro ou pontaria pela mira da arma, possivelmente até apenas com um olho aberto apesar de, em situações de tiro de combate, tentativamente o tiro ser efetuado com os dois olhos abertos por forma a aumentar o campo de visão do atirador. Assim, a visão periférica vai ser

considerada nula enquanto o mesmo estiver a fazer tiro, logo não se entrará com valores para probabilidades de detecção no campo de visão periférico.

O agente na posição defensiva fixa terá como função vigiar e defender um eixo de aproximação; logo, à partida, o seu campo de visão vai estar atribuído a um setor principal de tiro correspondente ao eixo mais provável de aproximação do seu inimigo. Esse setor será um cone de visão e tudo o que estiver fora do mesmo, estará a ser assegurado por um outro agente da sua força que não se encontrará dentro da área de jogo presente no simulador (sobreposição de setores).

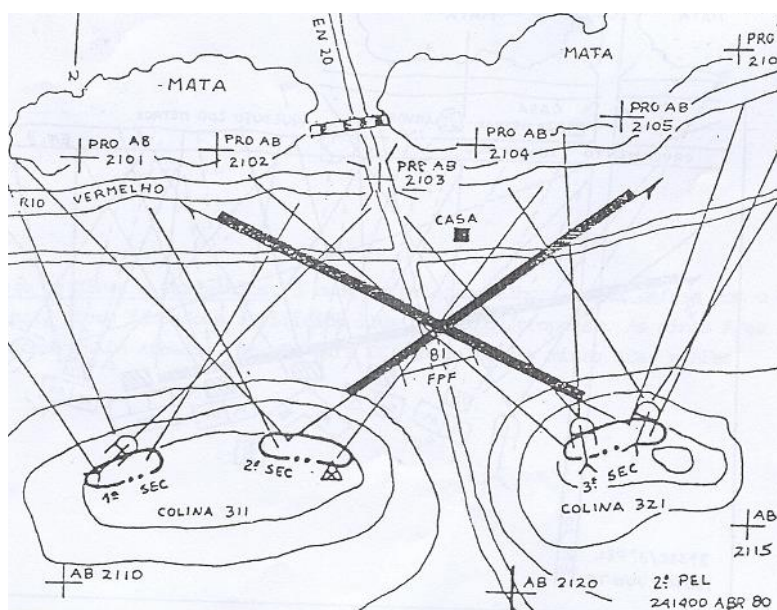


Figura 1 – Exemplo de carta de tiro com sobreposição de setores. Fonte: Apresentação PPT fornecida em aula de Tática Terrestre por CFR Almeida Gabriel.

Segundo Godnig, 2004, atiradores experientes reportam ter a capacidade de manter *awareness* visual periférico enquanto mantêm contacto visual com um alvo na sua visão central. Um sistema visual em completo funcionamento permite capacidade de resposta para objetos localizados dentro do campo de visão total (que para cada olho é cerca de 40 graus para cima, 60 graus na direção do nariz, 70 graus para baixo e 90 graus até à têmpora, medidos do ponto de fixação central). É considerado crítico que um atirador seja capaz de estar atento ao que se encontra para lá do seu alvo, bem como na sua envolvência, não só para garantir a sua segurança, mas para garantir o cumprimento da sua missão.

Em Yang et al, 2012, demonstrou-se por experimentação que se tem tempos de reação (*saccade reaction time*) mais rápidos para objetos periféricos que se movam também mais rápido, do que para os objetos periféricos que se movam mais devagar. Esta tendência pode ser explicada pela maior velocidade com o que o objeto periférico quebra o padrão do meio envolvente, sendo esse destoar com o fundo mais rapidamente detectado do que para um objeto que se mova a menores velocidades.

No estudo acima referido chegou-se à conclusão de que em cenários urbanos a probabilidade de detecção de objetos periféricos foi de 95.8%, enquanto em cenário rural foi de 87.9%. Isto pode ser explicado devido à existência de ângulos com maior excentricidade no cenário rural (85 graus) e ter sido demonstrado que nestes ângulos a probabilidade de detecção é menor.

Também neste estudo foram analisados os tempos de reação para obtenção de alvos periféricos dependendo da excentricidade do objeto em situações de cenário urbano e rural. Foi demonstrado que, em situações de cenário rural, os efeitos da velocidade e excentricidade de objetos periféricos não foram tão aparentes como em cenário urbano.

	Urban Scenario (Pedestrian detection: mean/median/SD)				Rural Scenario (UAV detection: mean/median/SD)			
	Button Reaction Time		Saccade Reaction Time		Button Reaction Time		Saccade Reaction Time	
	Slow	Fast	Slow	Fast	Slow	Fast	Slow	Fast
-85°	N/A	N/A	N/A	N/A	2.56/2.52/0.66 (0.0017)	2.47/2.41/0.86 (0.029)	1.17/0.82/0.88 (0.0024)	0.94/0.72/0.80 (0.017)
-80°	2.28/2.13/0.46 (0.57)	1.42/1.28/0.42 (0.12)	1.16/1.11/0.38 (<0.001)	0.88/0.89/0.28 (0.046)	2.17/2.16/0.72 (0.18)	2.30/2.18/0.55 (<0.001)	0.96/0.76/0.69 (0.33)	0.94/0.70/0.58 (0.0018)
-75°	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	2.08/1.83/0.69 (0.065)	N/A	0.84/0.58/0.46 (<0.001)
-70°	2.17/2.08/0.43 (0.22)	1.36/1.26/0.24 (0.04)	1.07/1.08/0.47 (0.0091)	0.78/0.80/0.23 (<0.001)	N/A	N/A	N/A	N/A
-65°	N/A	N/A	N/A	N/A	2.08/1.98/0.70 (0.14)	2.24/2.06/0.59 (0.25)	0.92/0.79/0.52 (0.0012)	0.88/0.57/0.41 (0.0039)
-55°	1.67/1.51/0.24 (0.43)	1.17/1.10/0.21 (0.76)	0.88/0.83/0.31 (<0.001)	0.66/0.72/0.22 (0.052)	N/A	N/A	N/A	N/A
-50°	N/A	N/A	N/A	N/A	1.89/1.74/0.43 (0.61)	2.36/2.25/0.85 (0.60)	0.79/0.75/0.33 (<0.001)	0.91/0.68/0.69 (0.21)
45°	2.05/1.84/0.50 (0.56)	1.33/1.22/0.23 (0.10)	0.99/0.98/0.42 (0.01)	0.71/0.72/0.21 (0.001)	N/A	N/A	N/A	N/A
50°	N/A	N/A	N/A	N/A	1.90/1.75/0.54 (0.30)	2.26/2.11/0.54 (0.39)	1.06/1.10/0.70 (0.12)	0.91/0.58/0.46 (0.016)
65°	1.79/1.60/0.34 (0.06)	1.42/1.32/0.32 (0.41)	0.92/0.98/0.35 (<0.001)	0.77/0.72/0.24 (0.025)	2.09/2.09/0.44 (0.012)	2.24/2.27/0.57 (0.060)	1.01/0.67/0.61 (0.0024)	1.18/1.25/0.52 (0.0035)
75°	N/A	N/A	N/A	N/A	2.71/2.53/0.79 (0.044)	1.85/1.92/0.74 (0.26)	1.15/0.66/0.68 (<0.001)	0.96/0.57/0.88 (0.0028)
80°	2.24/1.98/0.65 (0.07)	1.74/1.51/0.77 (0.20)	1.37/1.31/0.60 (0.005)	0.90/0.96/0.28 (0.016)	3.36/3.27/1.36 (0.048)	2.66/2.33/0.89 (0.02)	1.53/1.19/1.35 (0.12)	1.07/0.93/0.86 (0.03)
85°	N/A	N/A	N/A	N/A	2.27/2.05/0.54 (0.065)	N/A	0.84/0.53/0.58 (0.12)	N/A

Bold font indicates a significant difference.

Figura 2 – Média, mediana e desvio-padrão para os tempos de reação de acordo com cada ângulo e velocidade. Fonte: Yang et al, 2012, p.587.

2.3 Busca Visual

Outro dos aspetos analisados no que toca à componente da visão dos agentes simulados foi a componente relativa aos métodos utilizados pelos combatentes para efetuar a busca visual. As questões colocadas foram as seguintes:

- Como se processa a busca visual dentro de um setor atribuído, do ponto de vista de um atirador numa posição fixa?
- Qual a precedência adotada para seguimento de múltiplos contactos dentro do mesmo setor?

Relativamente à primeira questão, e segundo o acima descrito, um atirador numa posição fixa tem um setor atribuído que não deverá exceder os 20 graus em ângulo, uma vez que para ângulos superiores a 20 graus, não irá possuir uma observação eficaz (dados obtidos em conversa com especialista). Na procura dentro deste setor, o atirador efetua uma busca em formato “RADAR” onde efetua varrimentos com o olhar tanto lateralmente, como em profundidade, sequencialmente. Outro dos processos que poderá ser adotado é uma busca aleatória dentro do setor, onde o atirador efetua alterações aleatórias tanto no local do início, como de término. Uma vez que estas mudanças aleatórias no corpo humano são efetuadas na ordem dos centésimos de segundo, não se torna viável correr simulações com este modelo de busca visual, num simulador com um *time step* de ordem mais elevada. Se, em todo o caso, for optado por este método de procura visual de alvos, as alterações nos varrimentos serão aleatórias, de acordo com o *time step* definido.

Assim, com o modelo RADAR escolhido, o atirador inicia a busca visual num ângulo aleatório dentro do seu setor e efetua varrimentos até um dos limites laterais do seu setor. Quando este limite é atingido, o agente inverte o sentido e efetua o varrimento no sentido contrário, neste caso, até ao limite contrário, onde o processo se repete continuamente até ser detetado algum contacto.

Para a segunda questão colocada, e na existência de múltiplos contactos simultâneos dentro do setor, presumiu-se que o método mais realista de escolha de contacto para seguimento seria pela distância ao atirador. Isto, uma vez que se parte do pressuposto que os alvos mais próximos de quem está a defender uma posição fixa são os que poderão representar uma ameaça mais imediata. Assim, mesmo que um alvo tenha sido adquirido

primeiro, se surgir outro que esteja mais próximo, o atirador procede à troca de alvo, adquirindo o novo alvo e tentando eliminar o que se encontra mais próximo da sua posição.

3. Componente Dinâmica

3.1 Modelos Dinâmicos

Por forma a recriar o comportamento do agente simulado, tornou-se necessário estudar o seu comportamento e formar modelos que pudessem ser introduzidos no simulador, para obter a melhor aproximação da realidade. Um dos fatores cruciais na modelação de um agente combatente é a forma como o mesmo se desloca no terreno, não só em termos de velocidades de progressão, mas também em termos das posturas que adota. O combatente varia o seu deslocamento de acordo com a situação com que se depara, podendo optar por uma postura mais relaxada em situações de contacto improvável com o inimigo, progredindo mais rapidamente no terreno e numa postura mais elevada, por exemplo de pé. Em situações de contacto provável, o agente poderá adotar por progredir numa posição mais baixa, reduzindo o seu centro de massa e a sua silhueta por forma a dificultar a observação por parte de forças opositoras. Também nesta situação, o agente tomará mais precauções no seu deslocamento, visualizando possíveis abrigos e observando com mais atenção o meio envolvente, procurando sinais de forças opositoras. Numa situação de contacto iminente ou efetivo, o combatente poderá abrigar e efetuar disparos dessa posição, ou poderá deslocar-se recuando relativamente ao seu alvo ou avançando para o mesmo, ao assalto. Numa situação de contacto efetivo, o agente poderá optar por “sprintar” ou correr, por forma a trocar de abrigo, ou então rastejar (marcha do leopardo), de acordo com a situação tática com que se depare. Poderá também optar por diferentes posições aquando do contacto com o inimigo, de pé, de joelhos, deitado ou numa outra posição de tiro de combate que se adegue à situação.

Todos estes fatores não são possíveis de serem modelados de acordo com um padrão doutrinário ou de forma *standard*, uma vez que cada combatente toma as próprias decisões no terreno, de acordo com a situação, com o próprio terreno, com a sua experiência e outros fatores intrínsecos à decisão e raciocínio humano. Desta forma, a solução encontrada foi modelar as decisões base que o agente pode tomar, e dar o “poder de decisão” ao próprio agente, tendo este a capacidade de em cada *ts* alterar o seu comportamento.

Assim, optou-se por estudar e encontrar modelos que permitissem garantir ao agente os seus comportamentos primordiais, capacitando os agentes com as suas funções primárias de movimentação, sendo estas as suas velocidades de progressão e os diferentes tipos de progressão que poderá efetuar.

3.2 Velocidades de progressão em marcha, corrida e *sprint*

Segundo Morrison, 2017, um combatente deve possuir a capacidade para se deslocar a uma velocidade média de 6.5km/h durante 20km carregando 32kg de peso acrescido, com um ritmo cardíaco abaixo do limite de lactato, isto é, cerca de 85% do esforço cardíaco máximo. Militares das Operações Especiais deveriam conseguir fazer o mesmo, mas a um ritmo médio de 7km/h. Para um militar bem treinado, não deverá ser necessário correr a não ser que se desloque a uma velocidade superior a 7km/h, o que requer uma cadência superior a 160 passos por minuto.

Um combatente deverá usar uma passada de corrida quando necessitar de se deslocar significativamente mais rápido durante curtos períodos de tempo. Uma cadência de 180 passos por minuto resulta em cerca de 9.8km/h ou 2.7m/s. Isto representa um aumento de 36% na velocidade máxima a que se deslocam, mas que resulta no dobro do esforço que é exercido nos tecidos e ligamentos e mais do dobro de energia requerida para esse esforço.

No que toca a velocidades de *sprint*, trata-se de distâncias bastante mais curtas na ordem dos 200 metros ou esforços com duração de cerca de 20s, e onde vai ser exigido um esforço exponencialmente mais elevado. A capacidade de *sprint* é essencial para um militar que tenha de ser capaz de reagir a um contacto inimigo, para abrigar sobre fogo, ou para mudar de posição no terreno. Em termos de *standards* para este tipo de corrida, um soldado deverá ser capaz de correr 60 metros em cerca de 8s e 100 metros em cerca de 12s, com ou sem um peso de 16kg, não tendo o peso influência significativa nesta ordem de grandeza para as distâncias percorridas.

Aquando da realização dos testes de tempos de aquisição de alvos em movimento descritos no capítulo seguinte, foram efetuados testes que confirmaram que os valores acima descritos são realistas. Assim, os valores padrão para as velocidades de progressão foram definidos como:

- Marcha: 6.6km/h ou 1.85m/s
- Corrida: 10km/h ou 2.78m/s
- *Sprint*: 12.4km/h ou 3.45m/s

3.3 Influência do peso na velocidade de progressão

Para a modelação da influência do peso na velocidade do deslocamento dos agentes, foram tidos em consideração os três módulos em vigor no Corpo de Fuzileiros, dividindo-se nas seguintes configurações:

- Módulo de assalto: É constituído pelo material necessário para o cumprimento de uma missão de combate e para a sobrevivência do combatente. Tem na sua constituição diversos *kits* que permitem o essencial para uma missão até 24 horas de duração, como um *kit* de sobrevivência, *kit* de primeiros socorros, *kit* de faxina de armamento e uma ração de emergência.
- Módulo de combate: Constituído pelo que se considera imprescindível para executar uma missão com duração até 48 horas. Neste já está incluída uma ração de combate, agasalhos e roupa interior de reserva.
- Módulo de marcha: Tem na sua constituição o necessário para permitir ao combatente executar uma missão que exija a autossustentação por mais de 48 horas. Este módulo já contempla uma tenda individual, um saco-cama, um uniforme de reserva e material de higiene.

Esta é a constituição base de cada um dos módulos, sendo que, à medida que a especificidade da missão a executar aumenta, também aumenta a quantidade de material transportado. Por exemplo, maior quantidade de munições, equipamentos de visão noturna, maiores quantidades de roupa, alimentação e água.

Para além disto, o combatente ainda transporta o seu armamento orgânico, normalmente uma espingarda automática e uma arma de recurso (normalmente, uma pistola), bem como carregadores muniçados para cada uma das armas, faca(s) e qualquer outro material que possa ser considerado essencial. De referir que a quantidade de munições transportadas depende da intensidade do conflito, dividindo-se em cargas de combate para Baixa, Média e Alta Intensidade.

Não existindo pesos padrão definidos pelo Corpo de Fuzileiros para cada um dos módulos, foram pesadas diversas configurações existentes, obtendo-se uma média generalizada. Assim, calculando o peso médio total para cada uma das configurações, ficaram definidos os seguintes valores:

- Módulo de assalto: 30kg;

- Módulo de combate: 40kg;
- Módulo de marcha: 50kg.

Em relação à influência destas cargas na velocidade de deslocamento, verifica-se um natural decréscimo de *performance* à medida que o peso transportado aumenta.

External load	Marching speed	5 km march	10 km march	External load	Marching speed	5 km march	10 km march
20 kg	3.0 km/hr	Light	Light	40 kg	3.0 km/hr	Light	Moderate
	4.0 km/hr	Light	Moderate		4.0 km/hr	Moderate	Moderate
	5.0 km/hr	Moderate	Heavy		5.0 km/hr	Heavy	Heavy
	6.0 km/hr	Heavy	Very Heavy		6.0 km/hr	Very Heavy	Very Heavy
30 kg	3.0 km/hr	Light	Light	50 kg	3.0 km/hr	Moderate	Moderate
	4.0 km/hr	Moderate	Moderate		4.0 km/hr	Moderate	Heavy
	5.0 km/hr	Heavy	Heavy		5.0 km/hr	Heavy	Very heavy
	6.0 km/hr	Very Heavy	Very Heavy		6.0 km/hr	Very heavy	Very heavy

Tabela 1 – Esforço físico exercido de acordo com a carga transportada, em função da velocidade e distância percorrida. Fonte: <https://www.thinkdefence.co.uk/overburdened-infantry-soldier/>.

Assim, foram definidos os seguintes valores para as diferentes velocidades de marcha, de acordo com o peso transportado:

- Módulo de assalto ou 30kg: 6.6km/h;
- Módulo de combate ou 40kg: 4km/h;
- Módulo de marcha ou 50kg: 3km/h.

Não foi considerada a influência destas cargas para as velocidades de corrida e de *sprint*, uma vez que se parte do pressuposto que não é viável praticar esse tipo de deslocamentos com cargas tão elevadas por longos períodos. Tendo em conta a ordem de grandeza das distâncias praticadas nos cenários existentes no simulador, se um agente tiver a necessidade de efetuar uma alteração de deslocamento de marcha para corrida ou *sprint*, este tem como *default* as velocidades definidas para a configuração mais leve (módulo de assalto ou 30kg).

3.4 Efeitos das cargas transportadas

Em Fish, 2018, é dito que, segundo estudos realizados durante as últimas guerras, foi analisado o peso carregado pelos combatentes. A conclusão foi de que, atualmente mais do

que em qualquer outra altura da história, os combatentes transportam mais peso quando em missão, chegando a transportar entre 40 a 63kgs. O transporte de tamanhas cargas faz com que a mobilidade do militar seja afetada e drasticamente reduzida, o cansaço sentido seja exponencial e a *performance* na realização da missão seja reduzida.

O transporte de grandes pesos faz com que o combatente tenha a sua cabeça tendencialmente inclinada num ângulo descendente devido ao peso, o que leva a uma perda na percepção da sua envolvência e da sua consciência situacional (*situational awareness*). Em experiências controladas foi demonstrado que estas cargas também afetam os tempos de resposta de tiro, aumentando o tempo que um combatente no terreno demora a adquirir um alvo com precisão entre 0.1 e 0.2s. No total, para completar um percurso de 5 alvos, o tempo médio acrescido devido ao peso foi de 0.7s, comparado com condições em que transportavam cargas mais reduzidas.

3.5 Velocidades na Marcha do Leopardo - Rastejar

A técnica de rastejar, designada por marcha do leopardo, é bastante utilizada em situações onde os combatentes se encontrem em contacto efetivo. É utilizada principalmente de forma a progredir taticamente para uma posição que forneça melhor abrigo, ou para uma posição mais vantajosa. Pode também ser utilizada em situações onde um combatente esteja desprotegido, reduza de imediato a sua silhueta e possa efetuar um deslocamento rápido e mais seguro para uma posição abrigada. Para obter valores concretos para estas velocidades foram efetuados testes práticos com a ajuda do camarada ASPOF FZ Orzhekhovskiy.

Tendo em conta uma melhor aproximação da realidade, ficaram definidas duas situações para valores da marcha do leopardo; uma onde o combatente necessite de se deslocar com mais segurança e outra em que dê primazia à velocidade no deslocamento. Assim, foram testados valores para Marcha Leopardo *Fast* e Marcha Leopardo *Slow*. Outra situação em que a utilização dos valores *Fast* e *Slow* pode ser necessitada tem a ver com a distância percorrida pelo combatente, neste tipo de deslocamento. Esta técnica de progressão é altamente exigente a nível físico, principalmente tendo em conta o peso do equipamento transportado. Partiu-se do pressuposto que para distâncias superiores a 15 metros, o agente executa por defeito esta marcha na velocidade mais lenta, devido ao cansaço físico sentido pelo mesmo.

Os participantes eram compostos pelo autor e pelo camarada ASPOF FZ Orzhekhovskiy. Para a execução dos testes foi delimitada uma distância de 15 metros. O material utilizado era composto por um cronómetro, um caderno com tabelas preparadas para apontar os tempos e material de escrita.

Cada participante executou passagens sucessivas pelo percurso, primeiro para os valores de *Fast* e de seguida para *Slow*. Foram executadas 10 passagens para cada velocidade, por cada participante. No final, foram registados todos os tempos obtidos e calculada a média aritmética, por forma a obter os valores a introduzir no simulador, sendo estes:

- Marcha Leopardo *Fast*: 2.67m/s ou 9.61km/h;
- Marcha Leopardo *Slow*: 1.16m/s ou 4.17km/h.

4. Componente de Interação

4.1 Modelos de Interação

A componente de interação no campo de batalha, entenda-se o contacto entre forças opositoras por intermédio da ação de tiro de armamento, é algo inerente à função de combatente e de Fuzileiro. Como tal, tornou-se necessário na formação dos modelos de interação encontrar soluções que permitissem correr as simulações com esta componente incluída. Assim, foram estudados quais os fatores externos ao combatente que influenciam a sua precisão de tiro, bem como alguns fatores internos, como a ansiedade e o *stress* sentidos pelo mesmo, no terreno.

Foram também analisados estudos relativamente à deteção de alvos tendo em conta o uso de camuflagem ou dependendo do contraste com o meio envolvente, assim como desenvolvidos modelos para as precisões de tiro sobre alvos em movimento e os tempos de deteção, aquisição e pontaria para alvos em movimento.

As possibilidades a ter em conta neste capítulo são imensamente vastas, considerando todos os fatores que condicionam e influenciam toda a componente de interação. Desta forma, o objetivo foi modelar aquilo que é a base para estes modelos, podendo no futuro, serem desenvolvidos ou aprimorados outros que os completem, por forma a melhorar a realidade das simulações corridas.

4.2 Elementos externos que afetam a precisão do tiro

Em Hedges, 2010, são identificados cinco principais fatores externos ao combatente que afetam consideravelmente a trajetória e a precisão do tiro. São eles, a Temperatura do Ar, a Humidade presente na atmosfera, a Pressão Barométrica ou a Altitude a que o atirador se encontra, a velocidade e direção do Vento, e a Luminosidade no momento do disparo. Estes valores foram estudados para os efeitos sentidos em situações controladas, em carreiras de tiro e para distâncias bem superiores às praticadas em combate.

Para o combate de encontro, como é mais habitual nas campanhas de atualmente, estes valores terão consideravelmente menos influência na precisão de tiro, dado que a trajetória da munição vai ser bastante mais reduzida (25 a 400 metros). Para obter valores mais concretos que sejam viáveis de introduzir no simulador, teriam de ser efetuados testes em condições bastante específicas e com uma complexidade bastante superior aos meios disponíveis no momento da realização desta dissertação. No entanto, o autor considera que, para uma versão futura, e dando continuidade a este projeto, seria vantajoso estudar estes mesmos coeficientes de forma a tornar o simulador o mais realista possível.

A expressão utilizada para a precisão de tiro contempla os 5 seguintes fatores, embora não tenham sido atribuídos coeficientes que alterem o resultado obtido (*prohibit*):

- Temperatura do Ar

Afeta a trajetória do projétil, a temperatura do cano da arma, assim como a *performance* do atirador e da munição.

Uma vez que o ar quente é menos denso que o ar mais frio, um projétil encontra menos resistência ao seu avanço (atrito) e há menos perda de energia na sua trajetória com o aumento da temperatura do ar. Desta forma, para um alvo a 900m, pode haver uma queda da munição de até 130cm por cada diminuição de 12 graus Celsius na temperatura do ar.

O aumento da temperatura do ar causa um consequente aumento da temperatura do cano da arma, podendo causar deformações no mesmo, afetando a trajetória da munição ao ser expelida da arma. Para além disto, diferenças de temperatura do ar podem causar alterações à forma como a munição é percutida dentro da arma e afetando a forma como a explosão dos gases é efetuada dentro da câmara.

- Humidade

A humidade do ar não causa efeitos consideráveis na trajetória de um projétil. No entanto foi observado que a trajetória é menos influenciada quando o ar apresenta uma maior saturação de humidade. Para além disto, foi também observado que a munição retém mais velocidade e energia aquando do impacto no alvo, embora em termos de efeitos práticos, seja quase irrelevante.

- Pressão Barométrica/ Altitude

Devido ao facto de o ar ser mais denso ao nível das águas do mar do que a maiores altitudes, a resistência ao avanço de um projétil em voo é menor quanto maior for a altitude a que o atirador se encontra. Da mesma forma, quanto maior for a pressão barométrica no local do disparo, maior será o atrito sentido pela munição, devido à existência de mais moléculas de ar, retendo menos energia no momento do impacto.

- Vento

O vento tem um efeito considerável na trajetória de uma munição, aumentando o desvio lateral com o aumento da distância. Hoje em dia essa preocupação pode ser diminuída uma vez que existem calculadoras de tiro onde se pode entrar com valores para o vento sentido no local. No entanto, isto apenas funciona se o vento for constante ao longo do percurso da munição pelo ar.

Para uma maior perceção da influência que pode ser sentida devido ao efeito do vento, com uma munição 7.62*51mm NATO, e um vento de 10m/s no local, a 200m a deflexão da munição é de 30cm e a 300m é de 55cm.

- Luminosidade

As condições de luminosidade no local onde se encontra o alvo também influenciam a precisão do tiro, uma vez que um alvo bem iluminado pode mais facilmente ser distinguível do que um alvo que se encontre numa zona de sombra, ou menos iluminada. Este fator pode ser importante ter em conta, se o atirador estiver a efetuar fogo para um alvo que esteja abrigado ou numa zona arborizada.

Embora não tenham sido definidos os coeficientes para cada um dos fatores, foram definidos intervalos que poderão ser escolhidos no início de cada simulação, pelo utilizador, de acordo com os intervalos de valores definidos no estudo acima referido. São estes:

- Temperatura – Menor que 4 graus, entre 4 e 15 graus, entre 15 e 26 graus, maior que 26 graus;
- Humidade – entre 0% e 33%, entre 33% e 66%, entre 66% e 100%;
- Altitude/ Pressão – 0 metros (nível das águas do mar), entre 0 e 800 metros, entre 800 e 1500 metros, superior a 1500 metros;
- Intensidade do vento – 2m/s, 5m/s, 7m/s e 9m/s;
- Luminosidade/Altura do dia – Dia, Noite, Crepúsculo Matutino ou Vespertino.

Por forma a fazer a transição destes fatores para uma linguagem que possa ser utilizada pelo simulador, foi elaborada uma fórmula que, de acordo com a situação escolhida pelo utilizador, apresenta um valor para a probabilidade de *hit* para um alvo, em função dos respetivos parâmetros balísticos. A fórmula desenvolvida foi a seguinte:

$$probbal = \alpha qtemp \times \beta qhumid \times \gamma qalt \times \delta qwind \times \theta qlight$$

onde $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ e θ são os pesos de cada coeficiente (neste caso todos com valor 1) e $qtemp$ é o coeficiente para o valor de temperatura, $qhumid$ o coeficiente para nível de humidade do ar, $qalt$ para a altitude/pressão, $qwind$ para a intensidade do vento e $qlight$ para as condições de luminosidade/ altura do dia.

Como intenção futura, o objetivo será efetuar testes concretos para obtenção dos respetivos coeficientes de forma a que, quando o utilizador escolher um determinado intervalo para as condições acima descritas, as simulações sejam corridas com as alterações correspondentes a cada intervalo.

4.3 Cálculo da Área Exposta do Alvo

Para o cálculo da precisão de tiro do atirador, foi necessário modelar a Área Exposta de um determinado alvo, de forma a obter valores de precisão diferentes caso o alvo para o qual se efetuam os disparos se encontre de pé, de joelhos ou deitado. Por forma a calcular os valores para estas três posições, foram obtidos valores para a estatura média, assim como para a largura de ombros bideltóide média de um indivíduo adulto do sexo masculino, segundo os dados antropométricos estatísticos da População Portuguesa Masculina (Arezes, 2006, p.21). Relativamente à largura o valor obtido foi de 47.5cm e relativamente à estatura média foi de 1.69m. Foram definidas as seguintes três posições com as respetivas dimensões:

- Deitado – Para a altura máxima que um indivíduo pode apresentar, foi usada a largura máxima, uma vez que a altura máxima deitada será quando o agente estiver numa posição lateral, expondo mais o seu corpo. Assim, matém-se o valor de 0.475m.
- De Joelhos – Segundo Teichtahl, 2012, a altura média até ao joelho é de 51.1cm. Subtraindo esse valor à altura média de um indivíduo, obtém-se uma altura média na posição de joelhos de 1.09m.
- De Pé – 1.69m.

Para o cálculo da Área Exposta do alvo, multiplicou-se a largura média bideltóide pela altura em cada uma das posições, obtendo-se os seguintes valores:

- Área Exposta Deitado – $0.475 \times 0.475 = 0.226 \text{ m}^2$;
- Área Exposta de Joelhos – $0.475 \times 1.09 = 0.518 \text{ m}^2$;
- Área Exposta de Pé – $0.475 \times 1.69 = 0.803 \text{ m}^2$.

Uma vez que o simulador não trabalha com valores para unidades de comprimento, estes têm de ser convertidos para coeficientes que possam ser utilizados nas funções definidas para este fim. Para tal, dividiu-se a Área Exposta em cada posição pela Área Exposta da posição maior. Os valores obtidos foram os seguintes:

- Coeficiente de Área Exposta Deitado – $0.226/0.803=0.28$.
- Coeficiente de Área Exposta de Joelhos – $0.518/0.803=0.65$;
- Coeficiente de Área Exposta de Pé – $0.803/0.803=1$;

4.4 Efeitos da ansiedade no tiro

Em Oudejans, 2008, foi demonstrado que a *performance* de tiro de agentes da polícia diminuía em situações de pressão ou de ansiedade. Apesar de na configuração atual em que se encontra o simulador os agentes realizarem tiro majoritariamente com a arma principal devido às táticas utilizadas, existe também a possibilidade de os mesmos realizarem tiro com a arma de recurso, nomeadamente de pistola, onde se aplicam estes valores. Partiu-se do pressuposto que os efeitos sentidos devido ao nível de ansiedade seriam equivalentes para o tiro de pistola e para o tiro de espingarda automática, neste momento em uso no Corpo de Fuzileiros.

Em Oudejans, 2008, foi efetuado um estudo com agentes da polícia para determinar quais os efeitos concretos (valores) para esse efeito. Foram realizados testes em situações de baixa ansiedade e de alta ansiedade e os valores obtidos em ambos os testes foram comparados. Em cada uma das condições os agentes tinham de efetuar 10 séries de 4 tiros para um oponente que na situação de baixa ansiedade não reagia, ao contrário do cenário de alta ansiedade, em que o opositor disparava munições de treino, o que causava dor no sujeito de teste, criando *stress* e ansiedade no próprio.

As variáveis analisadas foram a precisão do tiro, a velocidade a que os disparos eram efetuados, a orientação do corpo e da cabeça, a velocidade de recarregar a arma (*reload time*) e o perfil de “piscar os olhos” (*blink behavior*). Conclui-se que:

- A precisão de tiro diminuiu de 70% em situações de baixa ansiedade (*Low-Anxiety* - LA) para 47% em situações onde foi introduzido algum *stress* (*High-Anxiety* - HA);
- Os tempos de resposta foram mais curtos em HA (1.79s em LA vs 1.48s em HA);
- Tempo para recarregar a arma: 6.00s em LA vs 5.71s em HA;
- Em HA os agentes piscaram mais vezes os olhos, passando mais tempo total de olhos fechados durante o decorrer do teste (0.65% em LA vs 2.63% em HA).

Assim, partiu-se do pressuposto, que para a implementação de valores deste modelo no simulador, os valores de *stress* sentidos em tiro de pistola também seriam credíveis para tiro de espingarda automática, nos cenários definidos. O simulador foi configurado para que no início da simulação, o operador tem a capacidade de escolher qual o tipo intensidade de conflito. Se for escolhido um conflito de Baixa Intensidade o simulador assume por defeito os valores de Baixa Ansiedade (LA) ou um coeficiente de tiro de 70% ou 0.7. Se o operador optar

pela configuração de Alta Intensidade, o simulador assume os valores de Alta Ansiedade (HA), ou seja, um coeficiente de 47% ou 0.47.

4.5 Tempos de Detecção de acordo com Variações de Contraste e Padrões de Camuflagem

Em Brunyé et al, 2019, foi estudada a relação entre a velocidade de alvos em movimento, com o contraste desses mesmos alvos, para cada uma das diferentes velocidades. No estudo efetuado, foram definidas três hipóteses de contraste diferentes, sendo elas: Baixo Contraste, Alto Contraste e a Condizer com o Fundo. Para cada hipótese de contraste, foram analisados os tempos de resposta para a detecção dos alvos, que se deslocavam a três velocidades distintas, sendo elas:

- Velocidade mais baixa (0.6m/s);
- Velocidade normal (1.4m/s);
- Velocidade mais alta (2.2m/s).

Os resultados obtidos foram os seguintes:

Velocidades	Tempos de resposta segundo contraste		
	Baixo Contraste	A Condizer com o Fundo	Alto Contraste
Mais baixa - 0.6m/s	16s	13s	12s
Normal - 1.4m/s	11s	8.5s	8s
Mais alta - 2.2m/s	5s	4.2s	4s

Tabela 2 – Tempos de resposta segundo o contraste I. Dados retirados de: Brunyé et al, 2019.

Com estes resultados, foi concluído que, à medida que a velocidade aumenta, os tempos de resposta diminuem; isto porque, sendo a velocidade mais rápida, mais facilmente o observador nota o destoar do alvo com o fundo envolvente. Chegou-se também à conclusão, de que à medida que o contraste aumenta, ou seja, quanto maior for a discrepância entre o alvo e o seu meio envolvente, maior facilidade existe na detecção do mesmo, o que leva a menores tempos de resposta na detecção do alvo em movimento.

Para a inserção destes valores no simulador, foram analisadas as velocidades encontradas na componente dos modelos dinâmicos. Uma vez que os agentes no simulador apenas possuem a capacidade de se movimentar a velocidades compreendidas entre 1.85m/s e 3.45m/s, não foram aplicados os valores obtidos no estudo acima referido, no que toca às velocidades mais baixas (0.6m/s). Partiu-se do pressuposto, que a relação entre a variação dos tempos médios de resposta seja linear, entre os valores da velocidade normal (1.4m/s) e da

velocidade mais alta (2.2m/s); e que a partir dos valores da velocidade mais alta, estes se mantêm iguais, uma vez que não existem dados para velocidades a partir de 2.2m/s e se fossem lineares dariam tempos de resposta negativos.

Assim, foram calculados os tempos de resposta na detecção, de acordo com as velocidades praticadas pelos agentes no simulador, para os valores obtidos para Marcha, Corrida e *Sprint*.

Velocidades	Tempos de resposta segundo contraste		
	Baixo Contraste	A Condizer com o Fundo	Alto Contraste
Marcha – 1.85m/s	7.625s	6.08s	5.75s
Corrida – 2.78m/s	5s	4.2s	4s
<i>Sprint</i> – 3.45m/s	5s	4.2s	4s

Tabela 3 – Tempos de resposta segundo o contraste II, fonte: Autor.

Em Brunyé et al, 2018, foram estudados os efeitos do uso de padrões salientes ou que destoem do meio envolvente e da forma como o tempo de reação na detecção de um alvo é influenciado por esses padrões. No estado atual do simulador, os agentes tomam a forma de Fuzileiros, que quando em missão fazem uso do uniforme camuflado, desenvolvido de forma a condizer da melhor forma possível com o meio envolvente dos cenários onde ocorrem as operações mais comuns. Assim sendo, não foram tidos em consideração desfasamentos nos tempos de resposta na detecção dos alvos.

Num futuro, onde o simulador apresente a capacidade de modelar diferentes tipos de uniformes, com mais ou menos contrastes, poderão ser aplicados e interpolados os valores dos estudos acima referidos para tais situações. No estado atual em que se encontra o desenvolvimento do simulador, apenas serão tidos em consideração os seguintes valores obtidos para os tempos de resposta na detecção de alvos em movimento, que se encontrem de uniforme camuflado, ou seja a condizer com o fundo:

- Marcha (1.85m/s) – 6.08s;
- Corrida (2.78m/s) – 4.2s;
- *Sprint* (3.45m/s) – 4.2s.

4.6 Probabilidade de *hit*

Em Aebischer et al, 2014, foi efetuado um estudo com um total de 2281 participantes, os quais forneceram dados, para determinar que fatores estão associados à precisão do tiro relativo à caça de veados em ambiente selvagem. Embora o âmbito desse estudo seja diferente, existem semelhanças no ambiente e nos métodos utilizados, assim como resultados que poderão ser úteis na modelação da precisão de tiro em situações reais, que quanto mais parâmetros forem utilizados, mais próximo da realidade se tornará o simulador.

O estudo analisa duas fases diferentes, que poderão ser transpostas para o presente tema:

A primeira fase estudada diz respeito à probabilidade de um tiro disparado por um atirador atingir um alvo (no caso deste estudo, os alvos eram os veados para os quais os caçadores disparavam).

A segunda fase do estudo foi analisar dentro dos disparos que atingiram os alvos, quantos foram efetivos no abate dos mesmos.

Nesta fase do projeto, não foram elaborados modelos para coeficientes de proteção balística dos alvos, nem modelos para determinar se o alvo é abatido conforme o sítio onde seja alvejado. Assim, para a presente dissertação, apenas foram considerados os valores presentes na primeira fase do estudo acima referido, uma vez que a probabilidade obtida (*probbhit*) através dos modelos apresentados é ao mesmo tempo a probabilidade de abater o alvo, no simulador.

Na primeira fase foram analisados vários dados fornecidos por caçadores em relação aos tiros executados e às condições dos mesmos. Fazendo a transposição para o presente tema, foram escolhidos os seguintes fatores que se aplicariam numa situação tática real, num teatro de operações:

- Distância ao alvo – em função da expressão obtida no estudo;
- Nível de treino de tiro – com as seguintes possibilidades: menos de uma vez por ano, mais de uma vez por mês, pelo menos uma vez por semana;
- Uso de apoio no tiro – *Off Elbows*, *Freehand* e *Bipé*.

De acordo com os dados recolhidos no estudo em referência, chegou-se à conclusão de que a probabilidade de *hit* é dada por uma função linear, quando a distância é considerada

como uma variável contínua e o seu declive dado por -0.010. A expressão retirada do estudo e utilizada para calcular a probabilidade de *hit* no simulador foi a seguinte:

$$prob = \frac{57}{57 + e^{0.01 * dist}}$$

Onde *dist* é a distância em metros ao alvo, calculada pelo simulador, através do cálculo da visibilidade do atirador para o alvo.

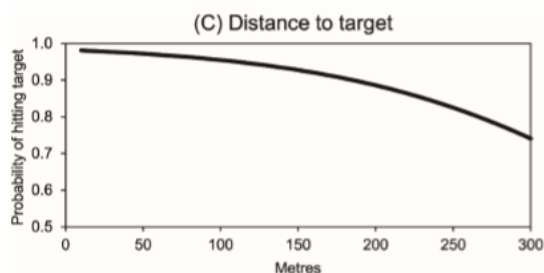


Gráfico 2 – Probabilidade de *hit* de em função da distância ao alvo. Fonte: Aebischer et al, 2014.

Para o uso de apoio no tiro, optou-se pelas três seguintes configurações que, dentro das estudadas e em conversa com especialista, foram definidas como as que mais se utilizariam numa situação de combate efetivo. Apresentam-se as respetivas probabilidades de *hit* para cada uma:

- *Off Elbows* – 81%;
- *Freehand* – 87%;
- Bipé – 93%.

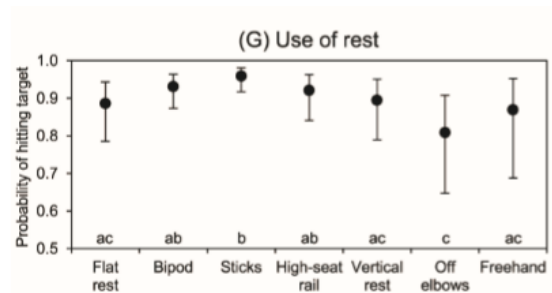


Gráfico 3 – Precisão de tiro de acordo com o apoio utilizado. Fonte: Aebischer et al, 2014.

Relativamente ao treino dos atiradores, estas são as probabilidades apresentadas no gráfico:

- Pelo menos uma vez por semana – 95%;
- Mais de uma vez por mês – 92%;
- Menos de uma vez por ano – 79%.

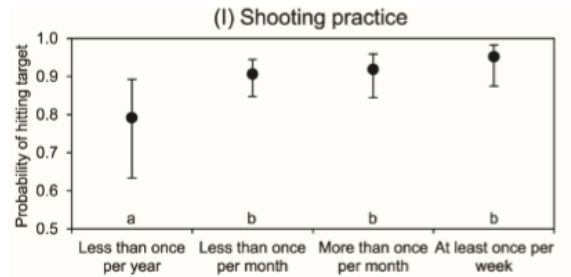


Gráfico 4 – Probabilidade de *hit* em função do treino. Fonte: Aebischer et al, 2014.

Não foi tido em conta a probabilidade de treino para “menos de uma vez por mês” dado que devido à sua proximidade com a probabilidade de “mais de uma vez por mês” não haveria influências significativas no decorrer das simulações.

Uma vez que não se aplicam estas designações de treino no que toca a forças militares, partiu-se do pressuposto que para as simulações efetuadas, seriam atribuídas as mesmas probabilidades de *hit* para forças com pouco treino (Guerrilheiros), forças com nível médio de treino (Forças Convencionais) e forças com muito treino (Forças Especiais).

- Forças Especiais – 95%;
- Forças Convencionais – 92%;
- Guerrilheiros – 79%.

Após terem sido modeladas todas as condições anteriormente descritas, resta aplicar os modelos e coeficientes a uma fórmula, que enquanto as simulações estejam a ser corridas, calcule e aplique os modelos, por forma a produzir as alterações pretendidas. Assim, a expressão desenvolvida foi a seguinte:

$$probit = \alpha qdist \times \beta qtreino \times \gamma qa \times \delta qaexp \times \theta qapoio \times probbal$$

onde $\alpha, \beta, \gamma, \delta, e \theta$ são os pesos de cada coeficiente, $qdist$ é o coeficiente relativo à distância ao alvo, $qtreino$ o coeficiente do nível de treino da força, qa é o coeficiente de ansiedade, $qaexp$ é relativo à área exposta, $qapoio$ é o coeficiente de acordo com o método de apoio

utilizado e *probbal* é o resultado obtido através dos fatores externos que influenciam a trajetória balística do projétil até atingir o alvo pretendido.

4.7 Tempos de Aquisição e Tempos de Pontaria

4.7.1 Introdução e Objetivos:

Para a modelação da interação entre agentes no terreno e em situações de contacto com um inimigo, torna-se necessário modelar a precisão de tiro do atirador para um alvo em movimento. Uma vez que o alvo não se movimenta apenas em linha reta e a uma velocidade constante na direção do atirador mas sim em direções e velocidades variáveis, existe a necessidade de em cada ts calcular a velocidade radial do alvo relativamente ao atirador e atribuir ao atirador uma precisão de tiro de acordo com as diferentes velocidades que este vai praticando.

Para além disto, existe também a necessidade de calcular qual o tempo de aquisição de um alvo em movimento e qual o intervalo de tempo entre disparos, ou seja, desde que o alvo foi adquirido e o primeiro tiro foi dado, até voltar a adquirir o alvo e voltar a disparar sobre o mesmo.

Dada a impossibilidade de calcular estes valores com armamento real e munições reais e visto que o tipo de armamento e/ou projétil não tem influência nestes parâmetros, foi decidido em conjunto com o camarada Orzhekhovskiy, realizar uma série de testes num ambiente controlado, numa instalação de Paintball com o respetivo equipamento. Estes testes permitiriam calcular os valores pretendidos, podendo ser realizados sem o perigo inerente à utilização de armamento real em pessoas.

Assim, no dia 5 de novembro de 2019, entre as 1500 e as 1800, os ASPOF FZ Rosado Jones, ASPOF FZ Vladislavovich Orzhekhsosvskiy e juntamente com a ajuda do ASPOF FZ Martins Guilherme dirigiram-se às instalações da NEST Paintball, em Fernão Ferro, que se mostraram disponíveis para nos receber e facilitar o equipamento e condições necessárias à realização dos testes pretendidos.



Figura 3 – Fotografia do local de testes. Fonte: Autor.

4.7.2 Equipamento

Para a realização dos testes todos os participantes envergaram equipamento de proteção corporal, constituído por um fato de corpo inteiro, um colete com proteção para a zona do tronco, capacete com viseira para proteção visual e do rosto.

Foram disponibilizados dois marcadores de Paintball (armas), juntamente com duas cargas de 500 munições (bolas com tinta) que permitiam observar e registar os impactos.

Para a anotação dos tempos, foi utilizado um cronómetro manual e um caderno com uma tabela para cada série de testes onde após cada “passagem” eram apontados os resultados.

4.7.3 Realização dos testes

Foi posicionado um local fixo para o atirador e delimitada uma área com 10 metros de comprimento por 16 metros de largura, sendo que o atirador se encontrava a 10 metros da posição central do percurso do alvo em movimento, de acordo com a figura seguinte (Figura 4).

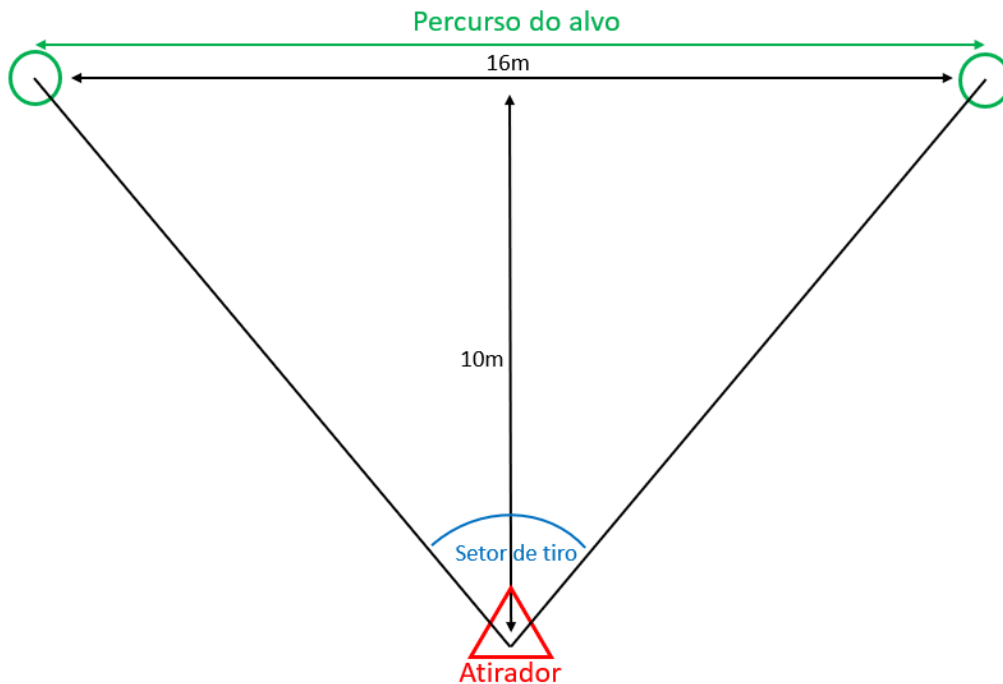


Figura 4 – Esquema da realização dos testes. Fonte: Autor.

Para uma maior robustez nos testes, todos os participantes fizeram tanto as funções de alvo como de atirador. Foram executadas 10 passagens por cada participante, para cada velocidade, num total de 30 passagens para cada velocidade. Todas as passagens foram cronometradas e se alguma não estivesse dentro dos parâmetros pretendidos para a velocidade, seria ignorada e repetida. Todos os impactos foram registados numa tabela previamente preparada.

Foram efetuados os testes a 3 velocidades distintas, correspondendo às velocidades de Marcha, Corrida e *Sprint*, com os mesmos valores que foram introduzidos no simulador para estas ações. Os valores atribuídos foram de 6.66km/h (1.85m/s) para Marcha, 10km/h (2.78m/s) para Corrida e 12.42km/h (3.45m/s) para *Sprint*.

4.7.4 Resultados Obtidos - Precisão de tiro para alvos em movimento

TABELA 1 - 01 A CORRER					HIT			MISS				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média (V)	Média (HIT)
V1	9.44	8.59	8.08	9.65	9.28	8.52	8.1	8.45	8.63	8.12	8.686	0.7
V2	5.99	5.37	5.72	6.3	6.29	5.65	6.36	5.56	6.11	5.89	5.924	0.5
V3	4.48	4.57	3.86	4.15	4.5	4.4	4.45	4.5	4.51	4.83	4.425	0.5
TABELA 2 - 02 A CORRER					HIT			MISS				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média (V)	Média (HIT)
V1	8.61	9.97	8.77	9.66	9.4	8.54	8.86	8.22	9	8.56	8.959	0.5
V2	6.5	6.17	5.31	6.5	6.2	5.82	6.05	5.49	6.18	6.12	6.034	0.3
V3	4.43	5.47	4.77	4.77	5.14	4.95	5.12	4.62	5.33	5.66	5.026	0.2
TABELA 3 - 03 A CORRER					HIT			MISS				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média (V)	Média (HIT)
V1	8.97	8.56	8.61	8.05	8.63	8.52	8.65	8.58	9.37	8.02	8.596	0.8
V2	5.2	5.4	5.08	5.28	5.79	5.46	5.76	6.05	5.81	6.21	5.604	0.6
V3	5.12	4.61	4.77	5.03	4.59	4.36	4.51	4.78	4.27	4.41	4.645	0.4

Tabela 4 – Tabela de registo de *hits* e tempos para percorrer o percurso, em segundos. Fonte: Autor.

Na tabela acima, foram registados os tempos de passagem por cada percurso para cada velocidade (V1 para Marcha, V2 para Corrida e V3 para *Sprint*), assim como se o alvo foi atingido (HIT) ou não (MISS). No final, calculou-se a média de tempos das passagens e de HITs.

Após o registo e durante a fase de análise dos resultados, foi calculada a média de tempo demorado por passagem, a cada velocidade, para garantir que estavam dentro dos parâmetros e de seguida foram calculadas as médias de *hit* por velocidade, obtendo-se os seguintes resultados:

	Média de tempo por passagem, em segundos.	Média de <i>hits</i>	Velocidade, em km/h - m/s
Marcha	8.747	0.667	6.66 – 1.85
Corrida	5.854	0.467	10 – 2.78
<i>Sprint</i>	4.699	0.367	12.42 – 3.45

Tabela 5 – Resultados obtidos para tempos médios, média de *hits* e velocidades. Fonte: Autor.

De seguida, converteram-se as velocidades em m/s para velocidade radial (em deg/s), de acordo com o ângulo existente entre a posição do atirador e os limites dos setores do percurso efetuado pelo alvo em movimento, obtendo os seguintes valores, que foram aplicados no simulador:

- Marcha – 8.8 deg/s;
- Corrida – 13.2 deg/s;
- *Sprint* – 16.4 deg/s.

4.7.5 Resultados Obtidos - Tempo de aquisição do alvo em movimento e tempos entre tiros

Para este teste, o procedimento efetuado foi o seguinte: O atirador encontrava-se virado de costas para o setor onde o “alvo” iria passar. O alvo iniciava o seu movimento, ou do limite esquerdo ou do limite direito, aleatoriamente para eliminar quaisquer variáveis que pudessem surgir por o atirador já saber de que lado iria ser iniciado o percurso. À voz do elemento que estava a apontar os resultados, o alvo começava o percurso e o atirador virava-se para o setor, pelo lado que escolhesse, também aleatoriamente.

De seguida, o atirador adquiria o alvo e efetuava dois disparos de seguida. Foram cronometrados os tempos até o atirador efetuar o primeiro disparo e o tempo entre o primeiro e o segundo disparo. Para este teste, não foram contabilizados os impactos, uma vez que não têm interferência para os resultados pretendidos.

Todos os percursos foram percorridos na velocidade intermédia (Corrida), e executados 5 vezes por cada participante, num total de 15 passagens totais. No final, foi calculada a média dos tempos até ao primeiro disparo e entre o primeiro e o segundo disparo, e calculados também os respetivos desvios-padrão.

Os resultados obtidos foram os seguintes, onde $t1$ é o tempo para efetuar o primeiro disparo, e $t2$ o tempo entre o primeiro e o segundo disparo.

	Média	Desvio-padrão
$t1$	2.650	0.297
$t2$	1.461	0.381

Tabela 6 – Resultados dos testes para tempos de aquisição e tempos entre disparos. Fonte: Autor.

4.7.6 Análise dos resultados

De acordo com os resultados obtidos no primeiro teste, pode-se concluir que, à medida que a velocidade radial de um alvo em movimento aumenta, a precisão de tiro do atirador (ou a quantidade de disparos onde se verificaram impactos no alvo) tem tendência a diminuir. Isto é, verificam-se mais impactos com sucesso quando a velocidade do alvo é menor, relativa a um atirador estacionário.

Para o segundo teste, verificou-se que a velocidade de aquisição de um alvo em movimento (t_1) foi praticamente independente do atirador que executava os disparos, assim como o tempo entre o primeiro e o segundo disparo (t_2). Analisando os resultados foram definidos dois intervalos de tempo diferentes: Tempo de Aquisição e Tempo de Pontaria.

Tempo de Aquisição é definido como o tempo que o atirador demora a adquirir o seu alvo. Por outro lado, o tempo de Pontaria é quando o alvo já foi adquirido e o atirador apenas necessita de realinhar a sua mira com o alvo e voltar a disparar. Assim, o tempo de Pontaria é dado por t_2 e o tempo de Aquisição é dado por $(t_1 - t_2)$, ou $(t_1 - \text{Tempo de Pontaria})$.

Conclusões e Propostas para Trabalhos Futuros

Conclusões

A modelação de agentes humanos envolve uma imensidão de componentes distintas e que ao mesmo tempo se encontram interligadas, onde a especificidade, a profundidade da pesquisa e dos modelos desenvolvidos depende principalmente do tempo disponível para a realização dos mesmos. Desde a parte comportamental às componentes psicológicas e físicas, as possibilidades são praticamente infindáveis. Assim, tornou-se necessário optar por aquelas que foram as componentes base para permitir o desenvolvimento da primeira versão deste simulador e dos agentes que nele “habitam”.

As principais preocupações foram garantir que os agentes detinham capacidade de observação e visualização, capacidade de se moverem e de se deslocarem como combatentes no terreno e capacidade de interação com outros agentes, que neste caso se traduz na busca, detecção e aquisição de alvos, efetuando disparos sobre os mesmos.

As principais dificuldades foram sentidas devido à imensa quantidade de informação disponível e ao número quase infinito de opções de modelos que poderiam ser escolhidos para recriar os agentes em ambiente virtual.

O ser humano é capaz de tomar decisões a uma velocidade que se fosse modelada com exatidão e corrida num simulador, a necessidade de processamento em termos computacionais iria ser traduzida em tempos de simulação que provavelmente excederiam o tempo real da experimentação em termos práticos. Assim, tornou-se necessário optar por um *time step* que permitisse correr um número de simulações que se traduzisse numa análise robusta de resultados, mas que não comprometesse a viabilidade das simulações em termos de tempo necessário para as mesmas serem efetuadas.

Em relação à modelação da componente estática, o fator determinado como decisivo foi a capacidade de busca visual e de seleção de alvos dentro do setor atribuído. Uma vez que este projeto não se encontra dentro do âmbito da inteligência artificial, foi necessário capacitar os agentes com algum poder de tomada de decisão, indicando aos mesmos qual a prioridade de escolha, caso existam alvos múltiplos dentro do seu campo de visão.

Relativamente à componente dinâmica, foram desenvolvidos diversos modelos que permitiram aos agentes deslocarem-se e progredirem taticamente no terreno, sendo que estas foram as capacidades que mais influenciaram o resultado das simulações corridas.

Na componente de interação, os modelos desenvolvidos permitiram que os agentes efetuassem disparos com o objetivo de abater um determinado alvo. Juntando a capacidade visual à tomada de decisão, agregou-se ainda fatores balísticos e de trajetória de projéteis pela atmosfera terrestre, e ainda tempos de deteção, de aquisição e pontaria testados em situação prática.

Ainda como conclusão, seria bastante útil para projetos como este, que existisse e se verificasse a recolha, validação e armazenamento de dados, obtidos a partir de exercícios e operações reais, executadas pelo Corpo de Fuzileiros.

Propostas para Trabalhos Futuros

Relativamente a propostas para trabalhos futuros que pretendam dar continuidade a este projeto, existem diversos fatores que seriam importantes de ser tidos em consideração, por forma a melhorar o realismo dos agentes e, por conseguinte, o realismo das simulações.

A influência do tipo de terreno na progressão e capacidade de observação do agente, como em casos de vegetação densa, vegetação rasteira, situações com areia, chuva e neve seriam o ideal.

Outro fator importante seria modelar diferentes tipos de armamento utilizados, para além do armamento orgânico existente no Corpo de Fuzileiros, permitindo recriar agentes de forças de outras nações e de forças opositoras que tenham capacidades distintas das presentes nas Forças Armadas Portuguesas. Fatores como o calibre das munições, da capacidade de penetração em diferentes meios, do peso do armamento e da distância percorrida por diferentes tipos de munições seriam as principais preocupações a tentar melhorar e desenvolver.

Seria interessante também desenvolver os métodos de classificação e de atribuição de alvos, uma vez que nesta fase, os atiradores na posição defensiva adquirem um alvo e executam imediatamente tiro para o mesmo, sem haver um processo de classificação.

Modelar também capacidades de deteção de contactos através do ruído/ capacidades auditivas, uma vez que as capacidades de aquisição de alvos residem apenas nas capacidades de observação dos agentes.

Bibliografia

Aebischer, N.J; Wheatley, C. J; Rose, H. R. (2014). Factors Associated with Shooting Accuracy and Wounding Rate of Four Managed Wild Deer Species in the UK, Based on Anonymous Field Records from Deer Stalkers.

Arezes, P. M. et al. (2006). *Estudo Antropométrico da População Portuguesa*.

Brunyé, T. et al. (2018). *Visual salience and biological motion interact to determine camouflaged target detectability*.

Brunyé, T. et al. (2019). *Camouflage pattern features interact with movement speed to determine human target detectability*.

Christie, C. (2000). *Cardiac responses under diverse combinations of marching speed and backpack load*.

Drain, J. et al. (2012). *Load Carriage Capacity of the Dismounted Combatant - A Commander's Guide*.

Dupont, L; Antrop, M; Eetvelde V. V. (2013). *Eye-tracking Analysis in Landscape Perception Research: Influence of Photograph Properties and Landscape Characteristics*.

Faria, H. A. R. (2013). *Modelação Comportamental de Agentes Inteligentes*. Escola Naval.

Fish, L; Scharre, P. (2018). *The Soldier's Heavy Load*, <https://www.cnas.org/publications/reports/the-soldiers-heavy-load-1>, acedido em dezembro de 2019.

Folhas, B. M. S. (2012). *A importância da Marcha como técnica de deslocamento no desempenho operacional das Unidades de Infantaria*. Academia Militar.

Godnig, E. (2004). *Vision and Shooting*, http://www.theppsc.org/Staff_Views/Godnig/vision_and_shooting.htm, acedido em novembro de 2019.

Gordon, C. C. et. al (1988). *Anthropometric Survey of U.S.*

Grosvenor, T. (2007). *Primary Care Optometry*. Elsevier Health Sciences.

Harrington, D. O. (1981). *The Visual Fields: A Textbook and Atlas of Clinical Perimetry*.

Hedges, C. (2003). *What every person should know about war*, <https://www.nytimes.com/2003/07/06/books/chapters/what-every-person-should-know-about-war.html>, acedido em junho de 2020.

Hedges, D. (2010). *Environmental Factors That Affect Accuracy*, <http://www.longrangebpcr.com/Accuracy.htm>, acedido em novembro de 2019.

Ilachinski, A. (1997). *Irreducible Semi-Autonomous Adaptive Combat (ISAAS): Na Artificial-Life Approach to Land Warfare*. Number August. Center of Naval Analyses.

Martins, J. J. M. (2017). *Métodos Eficientes de Simulação e Otimização em Problemas de Segurança Portuária*. PhD thesis, Universidade de Lisboa.

Matos, R. M. N. (2008). *Campo visual útil, divisão da atenção e velocidade de reacção periférica*.

Morrison, N. (2017). *The Soldier's Ideal Speed*, <https://spotterup.com/the-soldiers-ideal-speed/>, acedido em novembro de 2019.

NATO Standardization agency (2014). STANAG 4677 - *Dismounted Soldier Systems Standards and Protocols for Command, Control, Communications and Computers (C4) Interoperability*.

NATO Standardization agency (2017). AIntP-4 – *Generic Enemy Forces*.

Nieuwenhuys, A; Oudejans, R. R. D. (2010). *Effects of anxiety on handgun shooting behavior of police officers: a pilot study*.

Pal, M. S et al. (2013). *Optimum load for carriage by Indian soldiers on different uphill gradients at specified walking speed*.

Paul, S. et al. (2016). *Effect of uphill walking with varying grade and speed during load carriage on muscle activity*.

Richmond, P. W; Potter, A. W; Santee, W. R. (2015). *Terrain factors for predicting walking and load carriage energy costs: review and refinement*.

Sardegna, J. et al. (2002). *The Encyclopedia of Blindness and Vision Impairment*.

Silva, Â. M. (2006). *Ergonomia e antropometria. Dimensionamento de postos de trabalho em pé*.

Smith, R. D. (1999). *Simulation: The Engine Behind The Virtual World*. In *Simulation 2000 Series*, volume 1 (pp.72).

Strasburger, H; Rentschler, I; Jüttner, M. (2011). *Peripheral vision and pattern recognition: A review. Journal of Vision*.

Szinte, M; Cavanagh, P. (2012) *Apparent Motion from Outside the Visual Field*.

Teichtahl, A. et al. (2012). *The associations between body and knee height measurements and knee joint structure in an asymptomatic cohort*.

U.S. Marine Corps. (2001). MCRP 3-01A – *Rifle Marksmanship*.

William A. et al. (2007). *Motion Detection in the Far Peripheral Visual Field*.

Yang, JH; et al. (2012). *Modeling peripheral vision for moving target search and detection*. Aviat Space Environ Med.

Anexo I

Relatório da Reunião para Elaboração da Matriz de Análise Morfológica

No dia 12 de setembro de 2019, pelas 15:30, realizou-se na Escola Naval, uma reunião com o objetivo de identificar os diferentes parâmetros que foram introduzidos na Matriz de Análise Morfológica. A reunião foi constituída por um grupo multidisciplinar de camaradas voluntários de diferentes classes, por forma a alargar o espectro da discussão e providenciar assim, uma maior validade dos resultados.

Os voluntários que estiveram presentes foram os seguintes camaradas: ASPOF FZ Vladislavovich Orzhekhovskiy, ASPOF M Martin Fedorchuk, ASPOF AN Martins Sousa, ASPOF EN-MEC Dias de Paiva e ASPOF EN-AEL Passeira da Rocha. A discussão foi presidida pelo autor desta dissertação: ASPOF FZ Rosado Jones, que deu uma explicação inicial do problema proposto e esclareceu os objetivos pretendidos para a sessão.

A presença de vários camaradas, todos com pontos de vista diferentes sobre o mesmo assunto, fruto das suas variadas experiências, proporcionou uma discussão consistente e clara, onde todas as ideias foram analisadas e discutidas entre todos, antes de ser tomada qualquer decisão.

O grupo decidiu quantas dimensões seriam obtidas para a definição de um cenário, sendo obtidas 7 diferentes dimensões: Atividades Táticas, Tipo de Terreno, Meios Disponíveis, Escalão da Força, Ameaça a Combater, Duração da Missão (*Days of Supply*) e Intensidade do Conflito.

Foram definidos também os valores para cada dimensão, obtendo-se os seguintes:

- Atividades Táticas – Ofensiva, Defensiva, Estabilidade e *Enabling*.
- Tipo de Terreno – Arborizado, Montanhoso, Deserto, Neve, Urbano (CAE – Combate em Áreas Edificadas), Espaço Cibernético.
- Escalão – Equipa (4 elementos), Secção (8 elementos), Pelotão (32 elementos) ou Companhia (130 elementos).
- Meios Disponíveis - Infantaria, Cavalaria, Artilharia, Naval, Aéreos e Guerra Eletrónica (EW – *Electronic Warfare*).

- Tipo de Ameaça – Forças Convencionais, Terrorista, Mercenários ou Milícias.
- Duração da Missão (DOS) – Menor que 24 horas, entre 24 e 48 horas, maior que 48 horas.
- Intensidade do conflito – Baixa, Média ou Alta Intensidade.

Foi também definido que em cada cenário, cada dimensão será definida apenas por um valor. Assim, multiplicando os valores de todas as dimensões, foi calculada a totalidade de cenários que seria possível obter, um universo de 20 736 cenários diferentes. Destes, nem todos seriam viáveis, por exemplo seria impossível ter uma operação ofensiva no deserto, utilizando meios navais. Desta forma, foram retirados todos os cenários que não apresentavam viabilidade neste sentido, ficando com 345 hipóteses.

Destas 345 hipóteses, foram analisadas quais seriam as mais passíveis de serem levadas a cabo por forças de Fuzileiros na atualidade e foram escolhidos 2 cenários onde seriam efetuadas as primeiras simulações, para testar a capacidade do simulador.

Os cenários escolhidos foram dados pelos seguintes valores: Operação Ofensiva ao escalão Secção, com uma força de Infantaria, duração inferior a 24 horas, de Alta Intensidade, combatendo forças convencionais. Porém, no primeiro cenário o terreno escolhido foi o Arborizado e no segundo foi o terreno Urbano.

De seguida apresenta-se a Matriz de Análise Morfológica que foi obtida. O código de cores representa se a hipótese seria válida ou não. Assim, se uma célula se encontrar a verde significa que poderá ser uma hipótese a considerar. Se a mesma se encontrar a vermelho, foi uma possibilidade que não foi tida em conta. Por exemplo, não foram consideradas as possibilidades de uma operação naval, ou com meios navais ter uma duração inferior a 48 horas, da mesma forma que não foram consideradas operações aéreas, ou com meios aéreos com duração superior a 24 horas, dadas as óbvias considerações logísticas a ter em conta.

	Atividades Táticas					Terreno					Escala				Meios				Ameaça		DOS			Intensidade							
	Ofensiva	Defensiva	Estabilidade	Enabling	Arborizado	Montanhoso	Deserto	Neve	CAE	Ciber	Equipa	Seção	Pelotão	Companhia	Infantaria	Cavalaria	Artilharia	Naval	Aereo	EW	Forças Convencionais	Terrorista	Mercenários	Milícias	<24	24-48	>48	Baixa	Média	Alta	
Atividades Táticas	Ofensiva																														
	Defensiva																														
	Estabilidade																														
	Enabling																														
	Arborizado																														
Terreno	Montanhoso																														
	Deserto																														
	Neve																														
	CAE																														
	Ciber																														
Escala	Equipa																														
	Seção																														
	Pelotão																														
	Companhia																														
	Infantaria																														
Meio	Cavalaria																														
	Artilharia																														
	Naval																														
	Aereo																														
	EW																														
Ameaça	Forças Convencionais																														
	Terrorista																														
	Mercenários																														
	Milícias																														
	<24																														
DOS	24-48																														
	>48																														
Intensidade	Baixa																														
	Média																														
	Alta																														

Tabela 7 – Matriz de Análise Morfológica. Fonte: Autor.

